한국정밀공학회지 제 16 권 제 9 호 (1999 년 9 월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 16, No. 9, September 1999.

삼차원 STEP 데이터 뷰어 개발

최영*, 여창훈*

An Implementation of Three-Dimensional STEP Data Viewer

Young Choi* and Chang hun Yuh*

ABSTRACT

Three dimensional CAD data viewer helps a user to view and use many different types of CAD data without having costly programs that produced them loaded on their computers. A viewer for standard data formats such as STEP and IGES is more useful since most of the CAD systems provide translators for them. We developed a 3D CAD viewer for STEP AP203 solid and assembly data. In addition to the standard shading and assembly tree display, functions for 3D markups and measurement of distance and angles were implemented.

Key Words : STEP Solid Data (스텝 솔리드 데이터), STEP Assembly Data(스텝 어셈블리 데이터), Visualization Tool (가시화 도구), Triangulation of NURBS (NURBS 의 삼각화)

1. 서론

2 차원 CAD 를 기반으로 하는 설계 및 제조환경에서는 실제 설계실 이외의 엔지니어링 부서 혹은 관련 부서, 협력업체에서는 프린트 된 도면으로 설계형상을 참조하였다. 그러나 3 차원 CAD 소프트웨어의 급속한 보급으로 인해 3 차원 CAD 데이터의 사용이 늘어남에 따라 설계부서 이외에서도 3 차원 데이터를 간편하게 검색하고 참조할 수 있는 도구의 필요성이 증대되고 있다.

CAD 데이터의 3 차원 뷰어는 컴퓨터 설계 시스템에서 보다 능률적인 환경을 제공한다. CAD 데이터를 단순히 참조하거나 의견을 교환하는 작업을 위해 고가의 CAD 시스템이 아닌 뷰어를 이용하는 것은 3 차원 데이터에 대한 사용자간의 의사소통에 보다 편리하고 저렴한 방법이라 하겠다.

본 연구에서는 특정 상용 시스템의 데이터형식이 아니고 중립적이며 현재 국제 표준으로 채택된 STEP AP203 솔리드 및 어셈블리 데이터를 빠르고 정확하게 보여줄 수 있는 뷰어 개발을 목적으로 하였다.

구현된 뷰어의 기능을 요약하면 다음과 같다.

- STEP AP203 솔리드 데이터의 디스플레이
- Trimmed NURBS 의 처리
- 솔리드 데이터의 단면 뷰
- 3D 마크업
- 어셈블리 정보의 가시화
- 곡면, 어셈블리, 엔티티 단위의 트리를 구성, 트리와 뷰 윈도우 간의 정보교환
- 위치, 길이, 반경 등 측정 기능

STEP 물리 파일 내의 여러 가지 엔티티들을 참조하기 위한 방법에 있어 STEP 데이터 해석 모

* 중앙대학교 공과대학 기계공학부

눌을 직접 제작하여 빠른 데이터 처리와 효율적인 메모리 관리가 가능하게 하였다. 그래픽 디바이스 로는 OpenGL 을 사용하였다.

2. 곡면 요소의 처리

2.1 곡면요소의 종류

STEP 데이터의 가시화를 위해 파일 내부의 기하 엔티티들을 검색하고 곡면들의 삼각화 작업을 거친 후 화면에 표시하게 된다. 조립정보가 있을 경우에는 조립트리와 변환 행렬을 참조하여 변환 후의 형상을 디스플레이 한다.

STEP 파트 42 에 정의된 곡면 중 개발된 뷰어에서 처리 가능한 곡면 엔티티[5]는 다음과 같다.

- plane
- cylinder
- conics
- torus
- sphere
- surface_of_linear_extrusion
- b-spline surface
- rational b-spline surface

2.2 NURBS 변환

각각의 곡면 엔티티들은 삼각화의 작업을 위해 NURBS 의 형태로 변환된다. B-spline 곡면의 경우는 간단하게 변환이 가능하지만 원통이나 구, 평면처럼 해석곡면인 경우에는 NURBS 형태로 변환하기 위해 다음의 처리과정을 거친다.

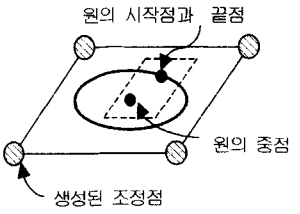

Fig. 1 Circular boundary loop

2 차곡면을 NURBS 의 형태로 바꿀 때에 문제가 되는 것이 경계의 설정이다. 본 연구에서는 손쉬운 방법으로 곡면의 경계 루프를 정의하기 위해 사용되는 버텍스 들을 조사하여 경계 조정점들을 결정한다. 예를 들어 루프의 종류가 원과 같은 경우 Fig.1 과 같이 실제 루프는 버텍스만으로 구성한 영역보다 범위를 크게 벗어난다. 그림에서 점선의 영역은 버텍스만을 포함하는 영역을 고려한 경우인데 중점과 시작점, 끝점만으로 정의된 원의 경계루프의 경우 버텍스만으로는 루프를 포함하는 평면을 쉽게 정의할 수 없게 된다. 때문에 이를 고려 충분히 큰 범위의 영역을 포함하는 조정점을 생성한다.

조정점을 구성하는데 다음으로 고려할 사항은 same_sense 라는 엔티티이다. 이것은 생성된 곡면에서 보여지게 될 방향을 나타내는데 이 값이 FALSE 인 경우 조정점의 순서를 역으로 바꾸어준다.

2.3 매개변수 평면상의 경계루프 생성

경계루프를 일정 간격으로 샘플링 하여 포인트 리스트를 구성한다. 이것은 3 차원 공간상의 좌표값을 가지며 삼각화 작업을 위해 u-v 평면상의 값으로 변환한다. NURBS 곡면상의 포인트의 u-v 값을 얻기 위해 NURBS point-projection 을 사용하였다. 방법은 Strong convex hull property 를 이용, 포인트와 가장 근접한 span 을 찾은 후, 그 span 에 포함되는 적당한 초기값 u_i, v_i 와 해당 span 의 식과 포인트 값에서 얻어낸 증분값 $\triangle u$ 와 $\triangle v$ 를 이용, uv 값을 얻는다.[2] 그런데 위의 연산은 계산 중 NURBS 곡면의 미분이 여러 번 들어가므로 조정점이 많은 곡면의 경우 연산시간이 많이 소요된다. 그래서 곡면상의 곡률의 변화가 적은 경우에는 u-v 평면을 4 개의 영역으로 나누고 영역의 대표값과 버텍스와의 비교를 이용하여 분할된 영역중 하나를 선택, 이를 반복하는 방법으로 uv 값을 얻음으로서 빠른 연산이 가능하게 하였다.

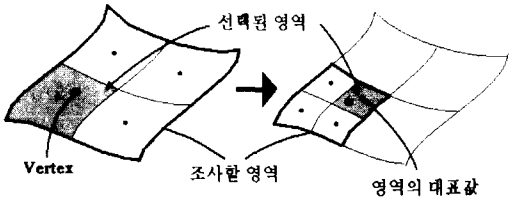

Fig. 2 Point-projection for small curvature surface

또 곡면이 2 차 단위곡면에서 NURBS 로 변환된 경우에는 단위 곡면의 표현식을 이용 삼각함수의 간단한 연산만으로 *uv* 값을 얻을 수 있다. 이렇게 생성된 버텍스 리스트들은 *uv* 평면상에서의 곡률을 고려, 빠른 삼각화 작업을 위해 곡률이 적은 부분에서의 버텍스 수를 줄인다.

3. Trimmed NURBS 의 삼각화

3.1 곡률을 고려한 셀 생성

Trimmed NURBS 의 삼각화 작업을 위해 전체 *uv* 평면을 주어진 곡률조건에 만족할 수 있는 사각형의 영역으로 나누게 되는데 이 영역을 셀이라 한다. 삼각화 작업은 셀 단위의 경계내에서 각각 이루어지게 된다. 셀의 경계는 *uv* 평면상에 존재하며 곡률을 고려하여 생성하게 되는데 곡면의 종류가 자유곡면인 경우에는 곡면상의 곡률을 고려, 셀을 생성하고 기본곡면인 경우에는 그 종류에 따라 약간씩 다른 방법을 적용한다. 예를 들어 평면의 경우 전체영역 내에서 곡률이 없기 때문에 이 작업이 불필요 하다. 또 원통의 경우에는 한 방향으로만 일정한 곡률이 존재한다. 따라서 여러 가지 기본 곡면들에 대해서는 간단한 연산을 거쳐 주어진 기준에 맞게 Fig.3 와 같이 셀을 생성한다.

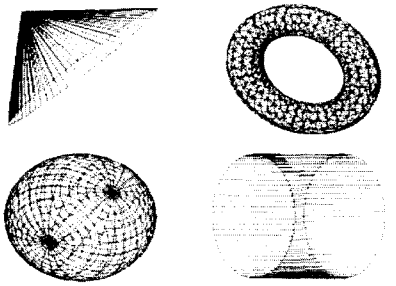

Fig. 3 Cell generation for analytic surfaces

B-Spline 곡면을 포함한 자유곡면의 경우에는 *uv* 평면을 하나의 셀로 시작해서 전체 셀에서의 곡률이 주어진 기준에 적합할 때까지 반복해서 분할 생성한다. 분할방법은 *uv* 평면상에서의 *u* 방향과 *v* 방향으로의 곡률을 고려해서 곡률이 큰 경우, 그 방향으로 셀을 binary 또는 quad-tree 의 형태로 분할 생성하게 된다. 곡률을 조사하는 방법은 NURBS 를 미분하는 방법이 있지만 빠른 처리를 위하여 Fig.4 와 같은 근사평면과 경계의 조정점과의 거리를 검사하는 방법을 이용하였다.

NURBS 의 곡률을 조사하기 위해서 먼저 모서리 부분의 조정점에 근접하는 평면을 구성한다. 그리고 평면과 NURBS 의 조정점과 아래의 비교를 한다.

- 평면과 조정점과의 최대 거리
- NURBS 경계부분의 조정점으로 형성되는 B-Spline 곡선의 곡률

위의 결과를 조합하여 *u* 방향이나 *v* 방향, 또는 양 방향으로 셀을 나누고 셀 영역에 맞는 노트벡터를 추가하는 방법으로 NURBS 를 분할하여 생성한다.[1, 2, 3] Fig.4 는 분할 생성된 NURBS 의 모습과 생성된 조정점들을 보여 준다. 그리고 Fig.5 는 자유곡면에서 곡률을 고려하여 분할 생성된 셀에서의 삼각화 모습을 보여준다.

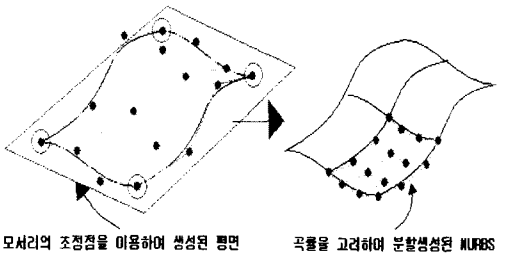

Fig. 4 Flatness calculation of a cell

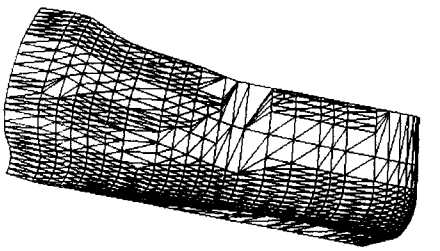

Fig. 5 Triangulation considering curvature

3.2 셀과 경계 포인트 리스트의 결합

생성된 각각의 셀의 경계를 기준으로 경계 포인트 리스트를 절단하고 이를 셀의 정보에 포함시

린다. 여기서 Fig.6 와 같이 절단된 여러 개의 포인트 리스트들을 셀의 경계를 따라 연결하는 작업을 하게 된다. 이 작업은 실린더, 원추곡면, 구면, 토러스 들과 같이 경계의 일부 또는 전부가 닫힌 기본곡면에서 경계 때문에 절단된 루프들을 자연스럽게 이어준다.

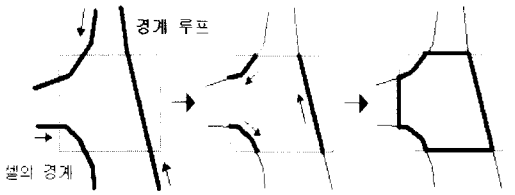

Fig. 6 Joining cell and boundary loop

Fig.7 은 기본곡면이 실린더인 경우에 곡면이 닫힌 경계 부분에서의 삼각화 예를 보여준다.

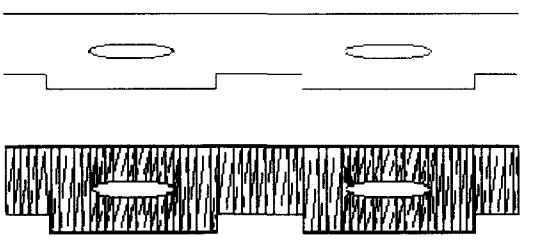

Fig. 7 Triangulation of a cylindrical surface

포인트 리스트가 포함되어 있지 않은 셀의 경우에는 절단전의 경계루프를 이용하여 셀이 경계 안에 포함되어 있는지를 판단한다. 포함 여부의 판단은 셀의 중점과 경계 버텍스간의 각의 합으로 구하는데, 구나 토러스 같은 기본곡면의 경우 셀의 격자가 일정하므로 그림판 등에서 쓰이는 색 채우기 알고리즘을 적용해서 보다 빠른 처리를 한다. 경계루프에 포함된 셀의 경우에는 셀의 경계를 이용, Fig.8 과 같이 경계루프를 넣어 준다.

자유곡면에서는 곡률을 고려해서 셀을 나누게 되는데 이 경우에는 Fig.9 과 같은 T 자 모양의 이음새 부분의 틈이 생기게 된다. 이러한 부분의 보정을 위해서 셀의 경계부분을 검색, T 자의 이음새 부분을 지나는 포인트 리스트가 있는 경우 포인트 리스트에 해당 부분의 포인트를 추가한다.

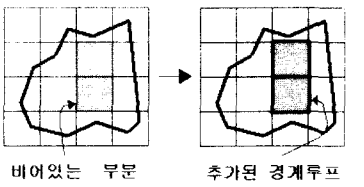

Fig. 8 Adding boundary loop

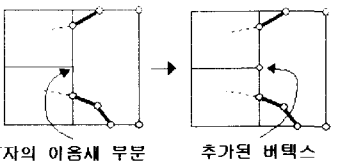

Fig. 9 T-shape connection

3.3 셀 단위의 삼각화

먼저 셀 경계내의 경계 포인트 리스트들을 루프의 방향을 조사하여 경계루프와 절단루프로 분류한다. 만일 셀 경계 내에 절단루프가 포함되어 있는 경우 절단루프를 나눌 수 있는 경계를 가진 두개의 셀로 나눈다. 앞의 작업을 반복하여 셀 내에 경계루프만이 남게 되면 삼각화 작업을 시작하게 된다.

삼각화 작업은 각각의 경계루프 단위로 *uv* 평면상에서 이루어진다. 아래의 Fig.10 은 경계루프에서의 삼각화 작업과정을 보여준다.

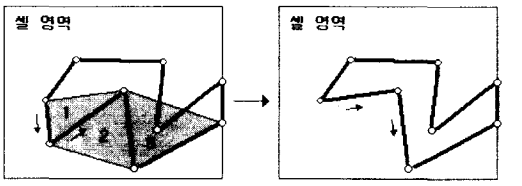

Fig. 10 Triangulation of boundary loop

삼각화의 작업은 리스트에서 임의의 포인트를 선택 후 그 포인트와 인접하는 2 개의 포인트를 포함하는 삼각형을 구성, 구성된 삼각형이 삼각화에서 주어진 조건에 만족되면 삼각형을 생성하고 해당 포인트를 제거하는 방식으로 한다. 이때 삼각화에서 삼각형 생성 조건은 다음과 같다.

- uv 평면상에서 삼각형을 구성하는 포인트의 방향이 양이어야 한다
- 구성된 삼각형 내에 다른 포인트가 포함되지 않아야 한다

Fig.9 에서 생성된 3 개의 삼각형을 보면 2 번 삼각형의 경우 첫번째 조건에, 그리고 3 번 삼각형의 경우에는 2 번째 조건에 만족되지 않음을 알 수 있다. 여기서 주어진 조건에 만족된 1 번 삼각형은 삼각형 리스트에 추가가 되고 1 번 삼각형을 생성하기 위해 쓰여졌던 포인트는 포인트 리스트에서 제거되어 Fig.10 에서의 오른쪽 그림과 같은 형상을 취하게 된다. 이후 작업은 모든 포인트가 삼각화 될 때 까지 반복하는 것으로 삼각화 작업이 완료된다. 알고리즘을 수도 코드로 나타내면 Fig.11 과 같다.

```
Breaking boundary vertex list to triangles
While (not finished) do
 For (each vertex) do
  Make triangle with selected vertex
  If (triangle's direction is positive in uv
   -domain)
   While (each vertex is not in triangle) do
    If (selected vertex is last one)
     Output triangle to triangle list
    Remove a vertex included triangle
    Endif
   Endwhile
  Endif
 Endfor
Endwhile
```

Fig. 11 Triangulation algorithm

생성된 *uv* 평면상의 삼각형들은 해당 곡면의 NURBS 를 이용 3 차원 공간좌표로 바뀌게 된다. 이때에도 곡면의 종류가 기본곡면인 경우에는 기본곡면의 식을 이용한다.

4. 어셈블리 정보의 가시화

4.1 어셈블리 정보의 구조

어셈블리 정보를 가진 STEP 데이터를 가시화 하는 과정은 그렇지 않은 경우에 비해 복잡한 처리과정을 거친다. 어셈블리 정보는 제품의 트리를 나타내고 그것 간의 변환을 정의한다.[5, 6, 7, 8] 트리는 'next_assembly_usage_occurrence'라는 엔티티를 참조해서 얻어내고,변환에 관한 내용은 'representation_relationship' 또는 'mapped_item'이라는 B-Rep 간의 변환을 나타내는 부분에서 정의된다. 어셈블리 데이터의 가시화 과정은 다음과 같다.

4.2 어셈블리 트리의 구성

어셈블리 트리의 구성은 'next_assembly_usage_occurrence'라는 엔티티를 참조함으로써 얻어진다. 여기서는 트리의 상위노드와 하위노드가 정의되어있는데 Fig.12 와 같은 구조를 나타낸다.

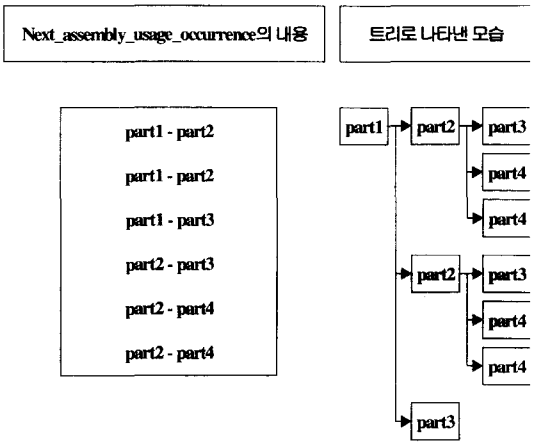

Fig. 12 An example of assembly tree

4.3 노드간의 변환행렬 구성

'next_assembly_usage_occurrence'에 정의된 트리 노드간의 변환행렬을 구성한다. 이 부분은 어셈블리 정보를 담고있는 여러 STEP 데이터들이 조금씩 달랐는데 솔리드 모델러의 STEP 변환기들간의 처리방법 차이에 기인한다. 본 프로그램에서는 두 가지의 경우로 나누었는데 첫번째는 'context_dependent_shape_representation' 엔티티의 'represention_relationship'에 정의되어있는 변환이고 두 번째는 B-Rep 들의 관계를 나타내는 'mapped_item'라는 엔티티에 있는 변환이다. 여기서 얻어진 변환행렬을 각각의 트리 노드간의 정보에 포함시킨다.

4.4 기본형상에 대한 최종 변환의 결정

어셈블리 데이터를 가시화 하기 위해 필요한 실제 B-Rep 정보를 가지고 있는 부분은 어셈블리 트리 중 리프 노드이다. 이 리프 노드를 표시하기 위해 어셈블리 트리에서 루트 노드로 부터 리프 노드까지의 모든 행렬을 곱해서 변환 행렬을 얻고 각각의 리프 노드의 정보에 이것을 포함시킨다. 최종적으로 가시화 부분에서는 어셈블리 트리 전체에서 리프 노드만을 검색, 준비된 변환행렬과 B-Rep 을 가지고 화면에 디스플레이하게 된다. Fig.13 은 여러 가지 어셈블리 데이터의 디스플레이 예를 보여준다.

Fig. 13 Display of an assembly data

5. STEPViewer 의 기능

5.1 초기 화면

Fig.14.은 STEPViewer 의 초기화면이다. 오른쪽에 렌더링된 모델을 보여주는 렌더링 윈도우가 있고 왼쪽에는 곡면, 어셈블리, 엔티티 단위의 정보를 보여주는 트리 윈도우가 있다.그리고 위쪽의 툴바는 메뉴 중 자주 쓰이는 기능을 보다 편리하게 사용 가능하게 해 준다.

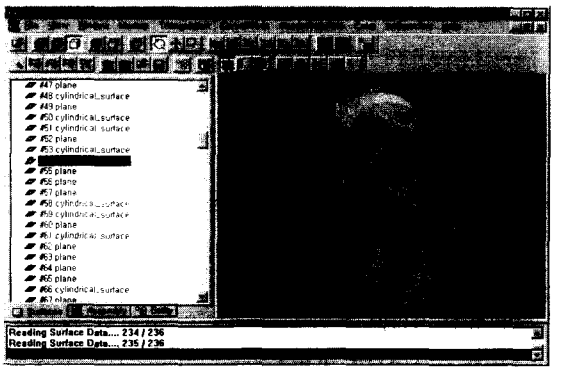

Fig. 14 Viewer interface

5.2 3 차원 마크업

서로 다른 위치에 있는 사용자간에 혹은 비동기적으로 CAD 데이터에 대한 정보나 의견을 교환하는 데에 마크업은 유용한 기능이다. 본 프로그램에서는 3D 마크업 기능을 구현하였다. 이것은 2D 마크업에 비해 사용자에게 구체적인 마크업 위치를 제공하고 마크업 뷰의 실행과 동시에 모델의 다양한 뷰를(줌, 회전, 이동 등에 의해) 관찰할 수 있게 함으로써 보다 능동적인 인터페이스를 제공한다.

3 차원 마크업 데이터는 위치정보와 텍스트로 이루어진다. 여기서 위치정보는 사용자의 시점, 마크업 위치, 그리고 여러 가지 부가 데이터를 포함한다. 사용자의 시점은 현재 렌더링 뷰의 변환행렬을 이용해서 구하고 마크업 버텍스는 화면상 사용자의 시점에 평행한 직선과 삼각화 된 모델의 데이터가 이용하여 얻어지는데 직선은 화면의 뷰 행렬의 역행렬을 이용해서 구해지고, 그것과 삼각형들 과의 교점을 구해 그 중 사용자의 시점에서 가장 가까운 것을 선택하는 것으로 곡면상의 원하는 점의 좌표가 구해진다.

텍스트 및 부가정보는 텍스트 입력 창과 옵션 창을 이용하여 설정할 수 있다. Fig.15 은 마크업의 실행 예를 보여준다.

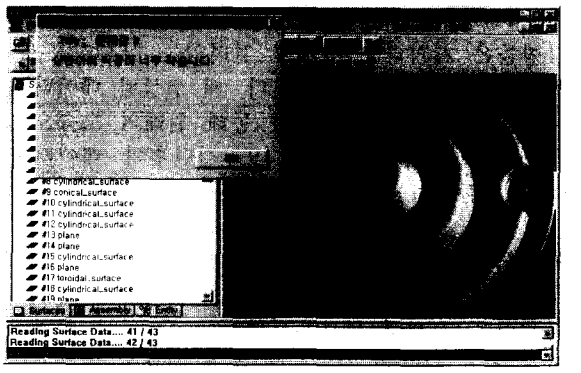

Fig. 15 An example of a markup

5.3 솔리드의 단면뷰

솔리드 모델의 경우 곡면의 방향성이 존재하고, 이 경우 솔리드 모델을 임의의 평면을 이용해 Fig.16 과 같이 절단하는 것이 가능하다. 과정은 다음과 같다.

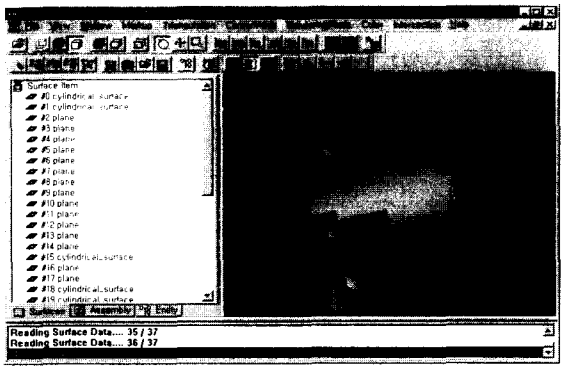

Fig. 16 Cross-section of a solid data

사용자로부터 임의의 2 개의 스크린 상의 좌표를 입력 받아 그 2 개의 점과 z 축을 포함하는 평면을 구성하게 된다. 그리고 이 평면과 교차하는 솔리드 모델 내의 모든 삼각형을 검색한다. 이렇게 얻어진 교차점들을 곡면 단위로 먼저 묶은 후 다른 교차점 리스트들과의 거리를 비교하여 인접한 것들을 연결, 경계 교차점 루프를 생성한다. 여기서 절단 평면을 이용하여 NURBS 를 생성하고 이것과 얻어진 경계 교차점 루프를 이용하여 단면을 생성하고 삼각화 작업을 수행한다.

또 절단 후의 모델의 데이터를 재구성하기 위하여 단면의 교차점 리스트를 구성하는 과정에서 절단평면과의 방향을 비교, 반대편에 있는 삼각형들은 제거하고 경계에 걸려있는 삼각형은 단면을 따라 절단, 재생성 한다. 재 생성된 데이터들은 따로 관리가 되며 이를 통해 원래의 모습으로 돌아가는 것이 가능하다. 또 절단후의 데이터를 이용 재절단하는 것도 가능하다.

5.4 측정 기능

모델에서 버텍스 리스트들에 뷰 변환 행렬의 역행렬을 곱해서 윈도우상의 좌표를 얻고 이것과 커서 좌표와의 비교를 통해 현재 선택된 버텍스의 좌표값을 알 수 있다. 그리고 얻어진 좌표값들을 이용, 버텍스에서의 거리, 각도 등을 얻고 경계루프가 원호인 경우에는 원에 관한 정보들을 테이블로 저장, 선택된 버텍스가 원호의 일부인 경우 원에 관한 정보를 출력한다. Fig.17 은 원호 아이템을 선택하고 그 정보를 보여주는 예이다.

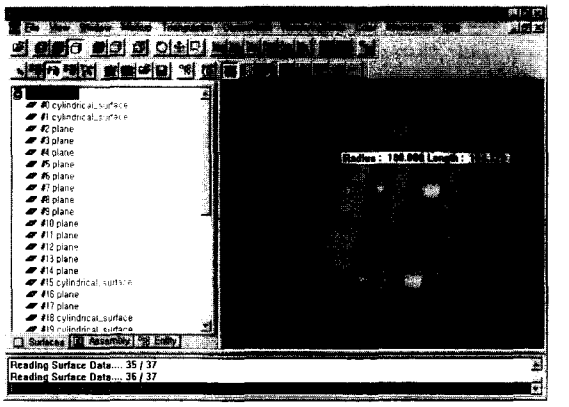

Fig. 17 Information of an arc

6. 타 시스템과 성능비교

STEPViewer 의 개발에 있어서 여러 가지 솔리드 표현형식의 수용보다는 STEP 형식 데이터의 정확하고 완벽한 처리에 중점을 두었다. 아래의 표는 STEP 형식을 지원하는 상용화 된 몇 개의 뷰어를 비교 테스트한 결과이다.

Table. 1 Comparison with other viewers

기능	ST-Visualizer 2.0	UniVIEW 1.0	STEPViewer 0.9
STEP 파일중 처리 가능한 개수(127 개)	53	97	124
UniVIEW 를 10 으로 가정했을때의 처리시간	12	10	6-12
Trimmed B-Spline 곡면의 처리	O	X	O
어셈블리 데이터 중 처리 가능한 개수(6 개)	2	X	5
Triangulation Option	X	Δ	O

위 표는 STEP 파일의 출력만을 고려한 것이다. UniVIEW 는 CATIA, IGES,..등의 여러 가지 형식을 지원하고 있다. 하지만 STEP 의 경우만을 볼 때 디스플레이 속도나 어셈블리 정보의 처리, 그리고

많은 기하 곡면과 다양한 STEP 모델들을 지원함으로써 보다 나은 기능을 제공하고 있음을 알 수 있다.

7. 결론

현재 다수 상용화 된 솔리드 모델 뷰어들이 있고 그 중 일부는 국제 표준으로 개발되고 있는 STEP 형식을 지원한다. 하지만 대부분의 뷰어들이 표시 가능한 곡면 종류의 부족이나 복잡한 형태의 모델에서의 오류가 많아 더 나은 기술의 개발이 필요 시 되고 있다. 현재로는 STEP 형식의 파일 밖에 처리하지 않는 STEPViewer 는 솔리드 모델 뷰어로서 부족함이 많지만 STEP 형식의 데이터만을 볼 때 비교 테스트한 기존의 뷰어보다 우수한 성능을 가지고 있다. 앞으로는 IGES, sat, VRML 등 여러 가지 데이터 형식을 지원하고 부족한 사용자 환경을 보완하여 경쟁력 있는 3 차원 CAD 데이터 뷰어로 발전시킨 계획이다.

후 기

본 연구는 1997 년도 중앙대학교 학술연구비 지원에 의해 수행되었다.

참고문헌

1. Piegl, L.A. and Tiller, W., "Geometry-based triangulation of trimmed NURBS surfaces," Computer Aided Design, Vol. 30, No. 1 pp. 11-18, 1998.
2. Piegl, L.A. and Tiller, W., The Nurbs Book, 1995.
3. Peterson, J. M., Tessellation of NURBS surface, In Graphics Gems IV,ed.P.S.Heckbert.Academic Press, New York, pp.286-320, 1994.
4. ST-Developer Reference Manual, STEP Tools Inc. 1995.
5. International Standard ISO 1303-41 Reference Guide, pp.5-21, 1994.
6. International Standard ISO 1303-42 Reference Guide
7. International Standard ISO 1303-43 Reference Guide, pp.3-17, 1994.
8. International Standard ISO 1303-44 Reference Guide, pp.12-19, 1994.